

VYUŽITÍ 3D TISKU NEJEN V ASTRONOMICKÉM VZDĚLÁVÁNÍ OSOB SE ZRAKOVÝM POSTIŽENÍM

Petr DUŠEK

www.43d.tech, petr.dusek@43d.tech

***Anotace:** Ziskáváme-li, ať je to z jakéhokoliv důvodu, astronomické vědomosti, poznatky, schopnosti, dovednosti, hovoříme o tom, že se vzděláváme v astronomii – jsme součástí astronomického vzdělávání. Výuka přitom zpravidla vychází z poznávání astronomických jevů pozorovatelných pouhými očima. Problém nastává, když zrak neslouží tak, jak by měl. Člověk se zrakovým postižením je ošizen o mnoho astronomických krás, které lidé bez zrakového postižení považují za samozřejmé – na poli astronomie zrakově postiženému vzniká značný informační deficit.*

Haptizace pomocí fyzického modelu patří k velmi užitečným prostředkům při řešení informačního deficitu nejen na poli vzdělávací astronomie. Tvorbu takových fyzických modelů velmi usnadňuje tzv. 3D tisk, který přináší množství zajímavých možností ve využití jak vizuálního, tak hmatového zobrazení objektu či jevu.

S 3D tiskem souvisí mnoho témat: pořízení podkladu pro 3D tiskárnu (návrhem ve vhodném programu (např. OpenSCAD), skenování, fotogrammetrie, stažení z vhodného zdroje (např. NASA 3D Resources)), výběr materiálu, technika samotného tisku atd. U všech těchto témat existují určité limity – také z pohledu přístupnosti.

Úvod

Před mnoha lety jsem se snažil lidem se zrakovým postižením přiblížit hvězdářská témata. Podařilo se vyhotovit hmatové planetárium (kupole, na jejíž vnitřní stěně jsou haptické objekty, které lze vizuálně spatřit na obloze), vydat různé tematické publikace, uskutečnit hvězdářský kroužek pro nevidomé a slabozraké děti, ... vzniklo mnoho zajímavých aktivit. V současnosti chci problematiku astronomického vzdělávání osob se zrakovým postižením posunout o kus dál. Napadlo mě vyhotovit nový typ hmatového planetária – lehčí, skladnější a cenově dostupnější.

Kdybych vyhotovil podklad pro 3D tisk takového hmatového planetária, mohl by si ho vytisknout kdokoli, kdo má přístup k 3D tiskárně. Jenže postupně se ukázalo, že 3D tisk se jeví jako skvělá možnost pro vyhotovení dalších astronomických objektů. Časem se přišlo na tisk jiných věcí, které s astronomií přímo nesouvisí. A já jsem se tak ocitl v roli člověka, který se možnostmi využití 3D tisku pro účely nevidomých a slabozrakých zabývá více než jen jako koníčkem.

Problematikou 3D tisku se zabývám zejména v rovině proudu běžně dostupné technologie. Mezi takovou technologii patří FFF (Fused Filament Fabrication) 3D tiskárny, které lze pořídit v řádech tisíců až desetitisíců Kč. Za tutéž cenu je možné pořídit také skenery, jimiž pořizují nezdírkla kvalitní a pro svůj účel dostačující třírozměrné modely.

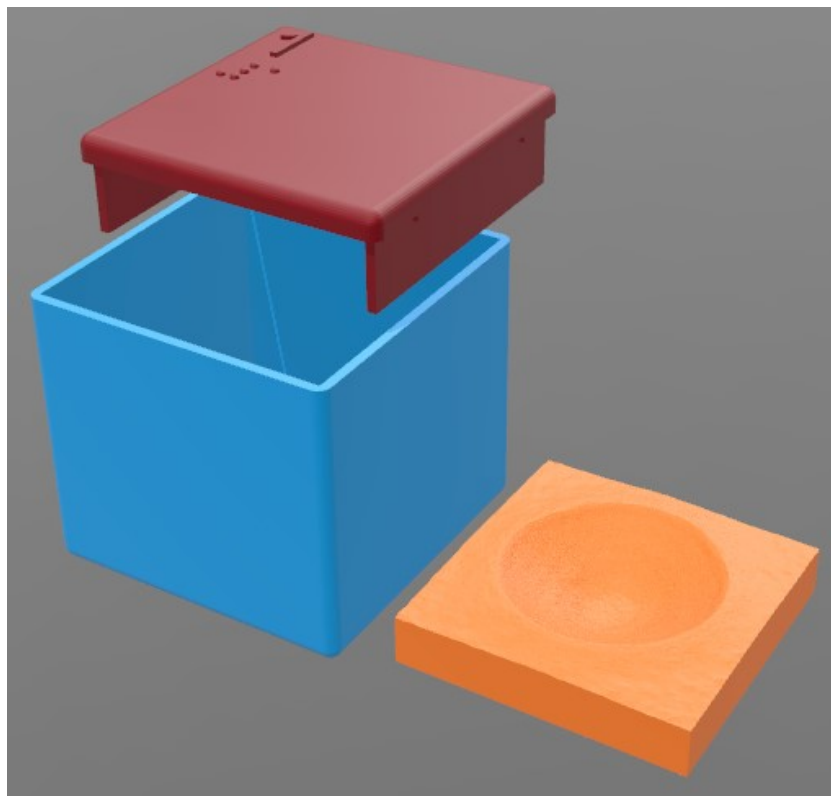
V následujícím povídání nebudu pojednávat o základech 3D tisku (zájemce odkazují na stručný článek Možnosti použití FFF/FDM 3D tiskáren zrakově postiženými – [1. část](#) a [2. část](#)), ale představím některé konkrétní případy využití 3D tisku pro vyhotovení třírozměrných modelů hvězdářsky zaměřených. Astronomii přitom vnímejme jako zástupnou oblast – mohli bychom podobně hovořit o jakémkoliv jiné oblasti.

Vesmírné krabičky (Zapamatuj si vesmír)

Hru Pexeso není nutné dlouze představovat, neboť je v povědomí naší kultury. Označení je českým akronymem vzniklým ze sousloví „Pekelně se soustřed“. V zahraničí je známa spíše pod názvem Memory (česky „paměť“). Tato karetní hra se sudým počtem karet tvořících dvojice má velmi jednoduchá pravidla. Karty jsou promíchány a položeny lícem dolů tak, aby žádný z hráčů nevěděl, co se na lici nalézá za obrázek. Jeden hráč otočí 2 karty lícem nahoru. Jsou-li obrázky na kartě shodné, vezme si je a pokračuje – opět otočí dvě karty. Jestliže obrázky na kartě nejsou shodné, pokračuje další hráč stejným způsobem jako hráč první. A tak se postupuje, dokud nejsou sesbírány všechny dvojice karet. Hráči získávají jeden bod za každou shodnou dvojici karet. Vítězí hráč s největším počtem bodů.

Na líci karet se mohou vyskytovat prakticky jakékoliv obrázky, ale jsou k dispozici i karty s tematickými obrázky a některá Pexesa (resp. Memory) jsou výuková – např. dvojice karet nejsou graficky shodné, ale je mezi nimi nějaká logická vazba.

Podobně jsem koncipoval hru Vesmírné krabičky. Tématem hry je právě vesmír. Rozdíl je v tom, že ke hře nepoužívám karty s obrázky, ale trojrozměrné modely umístěné uvnitř krabiček krychlového tvaru. Pravidla jsou stejná jako u karet: kosmický model hráči vloží do krabičky, která se následně uzavře víkem. Krabičky se promíchají. Jeden hráč otevře víka dvou krabiček. Jsou-li modely shodné, vezme si je a pokračuje. Jestliže modely na destičce nejsou shodné, pokračuje další hráč stejným způsobem jako hráč první. A tak se postupuje dál, dokud nejsou sesbírány všechny dvojice modelů. Hráči získávají jeden bod za každou shodnou dvojici. Vítězí hráč s největším počtem bodů.



Obr. 1: Ukázka modelu jedné vesmírné krabičky – modře krabička, hnědě víko, oranžově model kráteru Linné

Rozmístění, promíchání modelů a manipulaci s nimi usnadňuje použití vík označených čísly (lze je doplnit i písmeny). V takovém případě doporučuji objekty nejdříve vložit do otevřených krabiček, promíchat je, rozložit na stole a následně uzavřít víky tak, aby čísla následovala jedno za druhým.

Pokud hráči použijí neoznačených vík, orientaci si mohou usnadnit mřížkovým stolem (s označenými sloupci a řádky) – do každého otvoru vloží uzavřenou krabičku. Namísto mřížkového stolu dá se použít regál, do něhož se krabičky vkládají nejen ze shora, ale i z boční strany.

Jednotlivé díly hry (modely vesmírných těles, krabičky atd.) je možné si vytisknout na 3D tiskárně. Podklady pro tisk si zájemci mohou stáhnout na webu www.43d.tech. Na uvedené stránce hráči naleznou také základní informace o jednotlivých kosmických objektech.

Příklad vyhotovení kosmického objektu schovaného v krabičce

Koho více zajímá 3D tisk, jistě uvítá jednoduchost vzniku jednotlivých modelů. Opravdu je to velmi jednoduché. Zejména když jejich tvůrce využije modelů již existujících. Ukažme si to na měsíčním kráteru Linné:

- **Stažení STL souboru z NASA3D:** Americký Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (NASA – National Aeronautics and Space Administration) na webu <https://nasa3d.arc.nasa.gov/> postupně

rozšiřuje kolekci 3D modelů, textur a obrázků, které souvisejí s činností NASA. Tam lze najít řadu podkladů pro 3D tisk. Např. [kráter Linné](#). STL soubor (linne.stl) si stáhnou.

- **Zmenšení modelu:** Model na destičce nesmí být větší než vnitřní prostor krabičky. Stažený model byl původně navržen pro rozměr přibližně 300 mm × 300 mm × 50 mm. Musím ho tedy zmenšit – do krabičky, jejíž přibližný vnitřní rozměr je 47 mm × 47 mm × 47 mm (zvažuji i menší krabičky) by se jinak nevezl.

Pro úpravu staženého modelu použiji program [OpenSCAD](#). Do něho naimportuji soubor linne.stl a objekt zmenším. Kýžená část kódu v OpenSCAD vypadá následovně:

```
scale([0.15,0.15,0.15])import("/linne.stl");
```

Různé typy zobrazení

Podobným způsobem lze vytvořit mnoho dalších modelů vesmírných objektů a jevů – uvažuji o třech kategoriích:

- **Dvojozměrné zobrazení** objektů a jevů za hranicemi prostorového vnímání daného stereoskopickým mechanismem binokulárního vidění a monokulárního vidění ovlivněného zkušenostmi. Značné množství vesmírných objektů se nalézá ve velké vzdálenosti od pozorovatele – za hranicí lidského prostorového vnímání. A proto se lidem takové objekty jeví spíše dvourozměrně. Takže pokud chci hmatově zobrazit vzdálený objekt či jev tak, jak je viděn vidícím člověkem, zobrazím ho nízkoreliéfní grafikou.
- **Trojrozměrné zobrazení.** Přestože lidé nevnímají příliš vzdálené objekty trojrozměrně, pozorováním a studiem (s rozvojem poznání) si odvodili jejich trojrozměrnou podobu. Např. nebylo vždy lidem samozřejmé, že Slunce, planety, měsíce jsou kulaté (resp. nedokonale kulaté).
- **Pomocná zobrazení.** Abychom některým jevům porozuměli, pomůžeme si pomocnými/přirovnávacími zobrazeními. Například zobrazení dráhy kosmických těles, elektromagnetického vlnění, rozdílů ve struktuře kosmických těles atd.

Vesmírné krabičky jsou tematicky zaměřenou obdobou Pexesa. Namísto obrázků používám třírozměrné objekty. Tématem nemusí být jen vesmír, ale cokoli jiného – architektura, biologie, geometrie atd. Věřím, že hra najde uplatnění ať už jako didaktická pomůcka anebo jako forma příjemné poznávací zábavy.

Nízký reliéf kulové hvězdokupy M13

M13 (Messier 13 či NGC 6205) je výrazná kulová hvězdokupa severní oblohy v souhvězdí Herkula. Na velmi tmavé obloze bez světelného rušení může být viditelná pouhým zrakem. Menší optické přístroje odhalí její tvar i některé jednotlivé hvězdy, větší dalekohledy pak jednotlivé hvězdy i na okraji hvězdokupy. Jedná se o krásný objekt noční oblohy, který jsem s úspěchem zobrazoval nejen členům hvězdářského kroužku.

Ukazuji-li někomu na obloze kulovou hvězdokupu M13, neuvidí ji v trojrozměrné podobě, ale ve dvourozměrné – je příliš daleko za hranicemi prostorového vnímání. Chci-li hmatově zobrazit, jak je hvězdokupa vidět, provedu transformaci viděného obrazu do nízkoreliéfní grafiky. Třeba s pomocí 3D tisku:

- **Pořízení obrázku:** Hvězdokupu bych mohl vyfotografovat a snímek použít. Ale využiji internet. Třeba [snímek](#), který byl vyhotoven teleskopem Schluman.
- **Úprava obrázku:** Obrázek si upravím např. v programu [GIMP](#). S barvami pracovat nebudu, proto převedu obrázek do odstínů šedé: „Obrázek / Režim / Stupně šedi“. Hvězdy se mi nyní jeví jako bílé (resp. světlé) a pozadí jako černé (resp. tmavé). To je obráceně, než potřebuji, neboť do reliéfu budou převáděny tmavé části. Barvy tedy obrátím: „Barvy / Invertovat“. Tétož mohu dosáhnout převrácením hodnot výstupní úrovně: „Barvy / Úrovně“. Obrázek obsahuje stále mnoho šedých oblastí; aby byl pouze černobílý, vhodně nastavím „Barvy / Práh“. Nyní mohu obrázek uložit ve formátu PNG.
- **Převod obrázku PNG na vhodnější formát:** Reliéf chci z obrázku vytvořit v programu OpenSCAD, pro což se hodí obrázek ve formátu DXF (OpenSCAD si s PNG poradí také, avšak s jiným výsledkem). Konverzi provedu v programu [Inkspace](#) (ve kterém mám implementováno rozšíření [Inkspace Open SCAD DXF Export](#)). Otevřu si (při otevírání nastavím Embedded) dříve v Gimpu upravený obrázek PNG. Nejdříve si vyberu pipetou („Vyberte barvu z obrázku (F7)“) barvu. Následně vektorizuji bitmapu: „Křivka / Vektorizovat bitmapu (Shift+Alt+B)“. Zobrazí se dialogové okno, v němž obvykle ponechávám defaultní hodnoty a potvrdím. Nyní se mi zobrazují dva objekty – původní bitmapa a nová

zvektORIZOVANÁ bitmapa. Původní bitmapu odstraním a zvektORIZOVANOU bitmapu uložíM ve formátu DFX: „Soubor / Uložit / Uložit jako typ: OpenSCAD DFX Output (*.DFX)“.

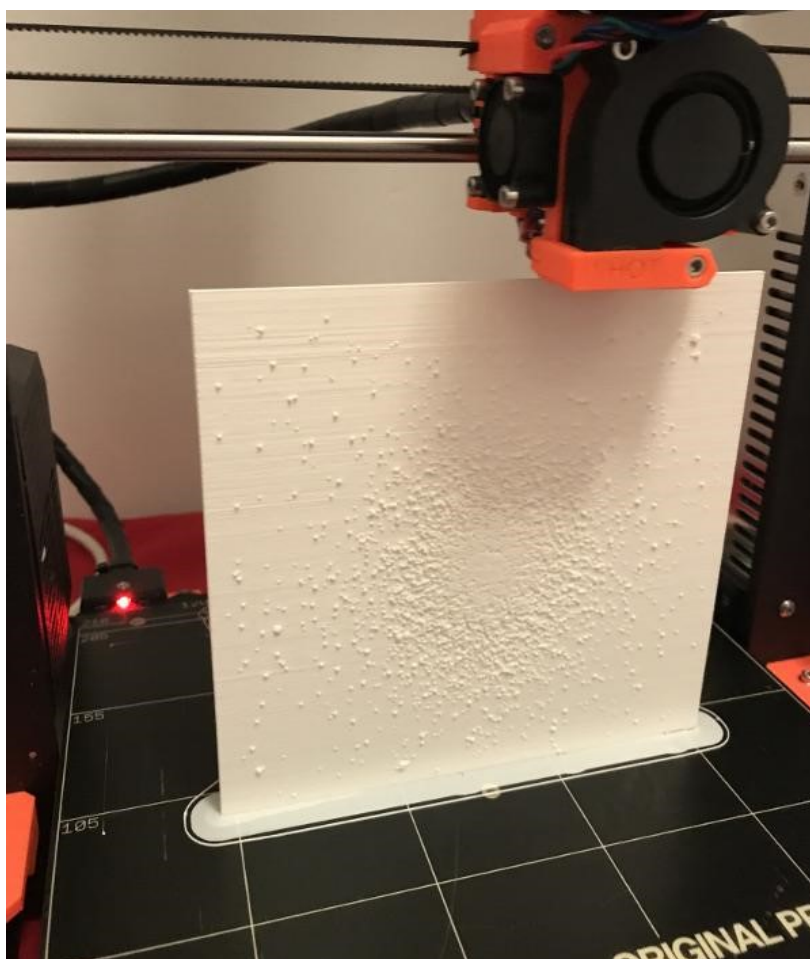
- **Tvorba reliéfu v OpenSCAD:** Nyní mohu DFX soubor v programu OpenSCAD zpracovat do podoby reliéfu následujícím skriptem:

```
scale([.357,.357,1])linear_extrude(height=.5)import("m13.dxf");  
translate([-5,0,-2])cube([160,160,2]);
```

kde „scale()“ upraví výslednou velikost v osách x a y, operace „linear_extrude()“ původní dvourozměrný obraz rozšíří do třetí dimenze a „import()“ zajistí import souboru DFX. Podložku, ze které bude vystupovat reliéf, vytvořím pomocí operace „cube“, kterou posunu prostřednictvím „translate()“.

K tvorbě podkladu pro 3D tisk nízkoreliéfní grafiky lze podle konkrétního případu využít i jiné cesty, např. [Ultimaker Cura](#), [Tinkercad](#), [Lithophane](#), [Shapeways 2D to 3D](#), [PNG23F](#), [Selva3D](#) atd. Každý z uvedených nástrojů, resp. postupů, má své výhody i nevýhody a je zapotřebí vždy zvažovat vhodnost použití.

- **Specifika 3D tisku nízkého reliéfu:** Zcela samostatnou kapitolou je tisk nízkoreliéfní grafiky. Praxe ukazuje, že nízkoreliéfní grafiku není vhodné standardními FFF 3D tiskárnami tisknout naležato – obraz pak není příliš hmatově příjemný. Praxe také ukazuje, že řešení nabízí tisk nastojato, takže reliéf je tisknut do boku jako převis. Pokud ale takovým způsobem tisknu reliéfní grafiku na relativně tenkou podložku (např. 160 mm × 160 mm × 2 mm), s narůstající výškou drobnými výstupky se více projevují vibrace podložky. Proto při podobném tisku si pomáhám zadními podporami, které sice musím po tisku odstranit, ale výrazně sníží vibrace.

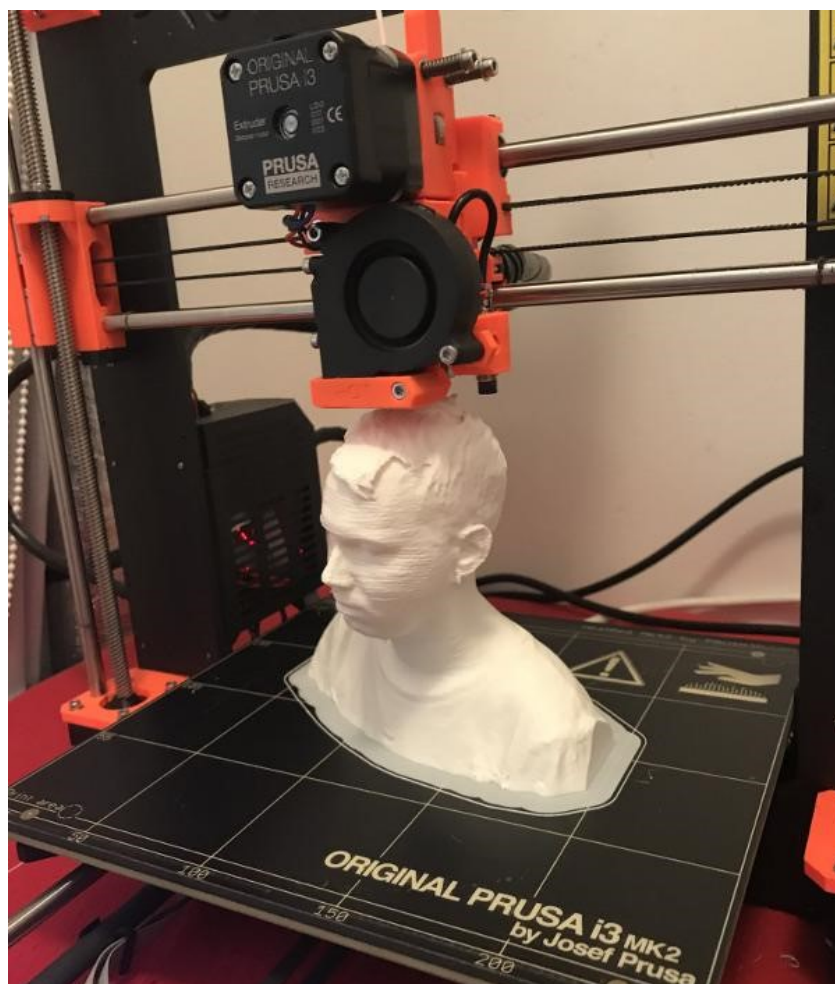


Obr. 2: 3D tisk kulové hvězdokupy M13

Busta astronoma

V astronomickém kroužku docela často hovoříme o různých osobnostech. Můžeme se tak v hovoru dostat například k sousoší astronoma, astrologa a alchymisty Tychona Braheho (1546–1601) a matematika, astronoma a astrologa Johanna Keplera (1571–1630), které bylo postaveno před Gymnáziem Jana Keplera v Praze. Anebo k jiným osobnostem. Nemluvě o nás samotných. Namísto prezentace obrázků si můžeme vyhotovit třírozměrný model – nemusí se přitom jednat o model celé postavy, postačí nám busta.

V současnosti si poměrně rychle mohou osobu naskenovat a vytisknout 3D tiskárnou. Mimo 3D tiskárnu k tomu potřebují skener a vhodný software. Já používám relativně běžně dostupný skener založený na fotogrametrii. K němu je dodáván i software nejen pro skenování, ale také pro dodatečnou úpravu výstupu.



Obr. 3: 3D tisk busty

Celý proces vyhotovení busty je možné rozdělit do čtyř činností:

- **Skenování:** Mezi běžné (na trhu dostupné) skenery patří např. Sense 3D Scanner, XYZprinting. Sken lze provést během několika minut – je však nutné, aby během této doby skenovaná osoba zůstala nehybná. Jakýkoliv její pohyb se negativně promítne do výstupu. Během skenování je zapotřebí sledovat správné zaměření skeneru a věnovat pozornost různým oznámením softwaru.
- **Oprava výstupu skenu:** Po doskenování soubor uložíme, popřípadě vyexportujeme do STL souboru. STL soubor nese informace o 3D objektu, který je možné si představit jako povrchovou síť trojúhelníků. Čím detailnější model, tím více trojúhelníků. V případě objektů pořízených skenováním se projevují různé chyby – například některé trojúhelníky chybí a objekt není celistvý. Takové nedostatky mohou způsobovat problémy s nečitelností STL souboru, nečitelností následného gcode souboru anebo

problémy při tisku. Opravit soubory můžeme v placených programech či online službách, jsou ale k dispozici možnosti zdarma – třeba Makeprintable.com, MeshLab. Uvedené nástroje umožňují opravy automaticky, manuálně nebo obojí.

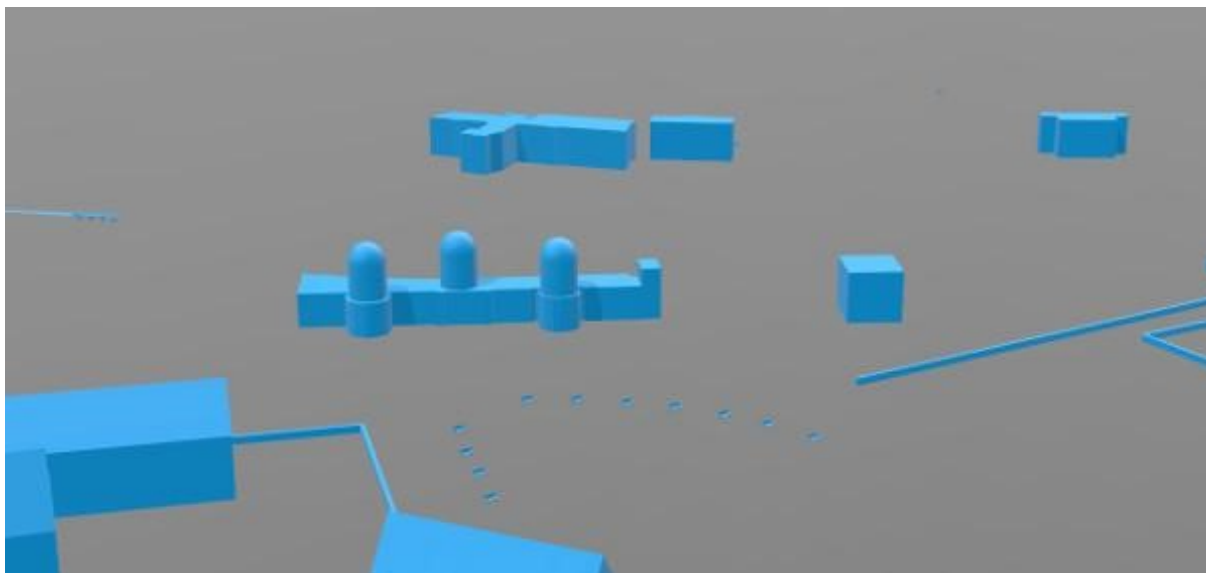
- **Úprava v editoru:** Protože málokdy tisknu bustu v životní velikosti, mezi nejčastější úpravy patří zmenšení. Někdy chci bustu mít s podstavcem a tak ho domodeluji. K úpravám nejčastěji používám OpenSCAD, lze však použít mnoho dalších programů.
- **3D tisk:** Neobsahuje-li STL soubor chyby, tisk probíhá bez sebemenších potíží.

Mít k dispozici trojrozměrnou podobu sama sebe, svých blízkých či někoho, kdo nás nějakým způsobem zajímá, je jistě zajímavé a vděčné jak pro nevidící, tak pro vidící. Navíc digitální podobu 3D člověka si zájemce může uchovávat a vytisknout třeba za několik let, porovnávat dynamicky měnící se 3D podoby „téhož“ v časových odstupech, předávat svou 3D podobu dalším lidem a mnoho dalšího.

3D budovy za pomoci OpenStreetMap

Pokud se zajímáme o astronomii, pak nás neminou hvězdárny neboli observatoře. V kontextu vzdělávací astronomie zejména hvězdárna lidového charakteru umožňuje návštěvníkům pozorování astronomických jevů (Slunce, Měsíce, planet, hvězd aj.) pod vedením lektora. Hvězdárna zpravidla je vybavena pozorovacími přístroji, např. dalekohledy různého typu. Hvězdárnu je často myšlena, stejně jako v případě planetária, také kulturně-vzdělávací instituce.

Docela známou v Česku je Štefánikova hvězdárna. Tu si mohu zobrazit v online mapách, třeba Mapy.CZ, Google Maps anebo v OpenStreetMap. OpenStreetMap obsahuje mj. poměrně přesné údaje o výškách budov a umožňuje tak získávat jejich 3D modely.



Obr. 4: Model Štefánikovy hvězdárny – není tvarově příliš přesný, ale i tak může posloužit

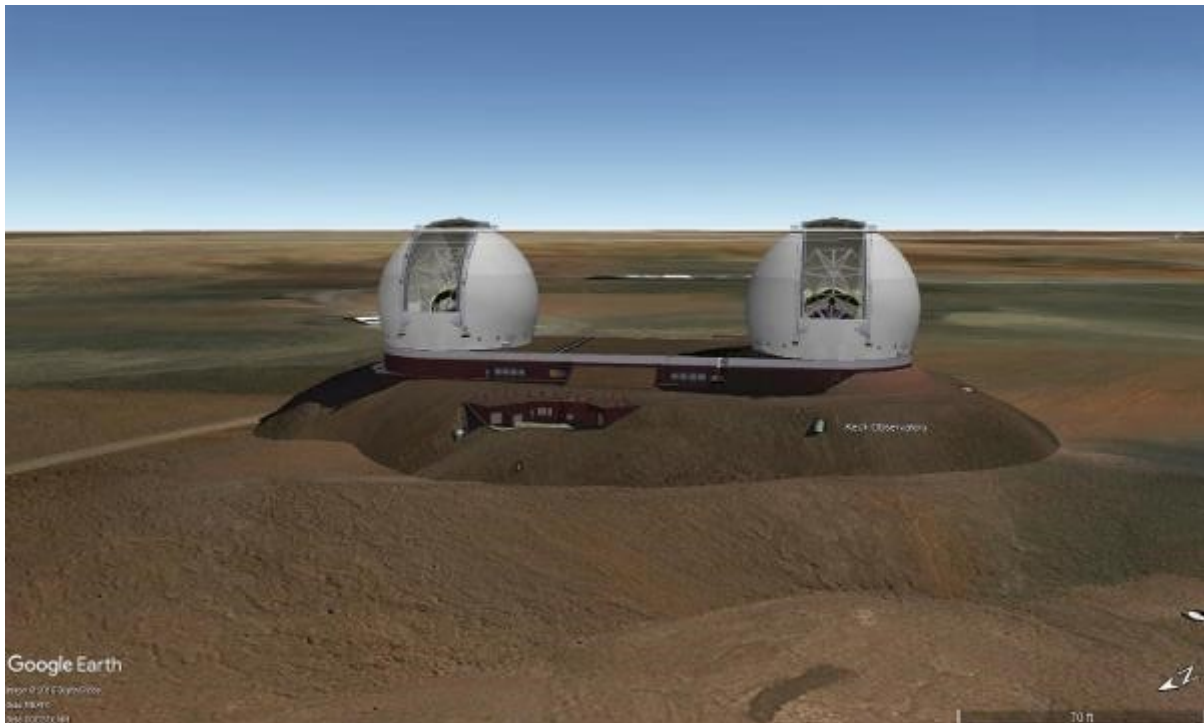
Oproti Google Earth je to mnohem jednodušší způsob pořízení 3D modelů staveb, tvarově ne příliš pestrý, což nemusí být vyloženě na škodu. Výhodou také je, že prostřednictvím OpenStreetMap 3D model lze pořídit během několika desítek sekund:

- **Export souboru z OpenStreetMap:** Zobrazíme si web OpenStreetMap. Vyhledáme si oblast, kterou chceme zobrazit. Do vyhledávání zadám „Štefánikova hvězdárna“ a potvrdím. Přiblížení či oddálení provedu stisknutím tlačítek „+“ a „-“. Tlačítkem vlevo nahoře provedu export. Soubor je uložen pod označením osm.map.
- **Převod souboru .map do modelu .obj:** K převodu souboru .map do modelu .obj (který mohu následně použít pro 3D zobrazení, další úpravy či 3D tisk), použiji nástroj OSM2World. Jedná se o multiplatformní Java aplikaci. Lze ji používat z terminálu anebo pomocí GUI rozhraní, které si spouštím ve Windows z příkazové řádky pomocí "osm2world-windows-amd64.bat --gui". Převod do .obj provedu přes „File / Export OBJ“.

- **Úprava v editoru:** Soubor .obj si otevřu v některém editoru a provedu úpravu 3D modelu – zpravidla doplním podložku a popisky.
- **3D tisk:** S tiskem budov pořízených prostřednictvím OpenStreetMap nemívám prakticky žádné potíže. Doporučuji tisknout pomocí houževnatějšího materiálu (např. PET), jelikož model může obsahovat prvky, které se při použití křehkého materiálu lámou – např. věže.

3D modely budov s Google Earth Pro a SketchUp 3D Warehouse

Observatoře mívají také charakter výzkumný, někdy převážně či jen. Takovým příkladem je W. M. Keck Observatory se dvěma Keckovými dalekohledy, které v současnosti patří mezi největší optické a infračervené dalekohledy na světě.



Obr. 5: W. M. Keck Observatory – zobrazení v Google Earth Pro

Nalézají se na vyhaslé sopce Mauna Kea na Havajských ostrovech – což je pro našince přeci jen docela daleko. Nicméně prostřednictvím aplikace [Google Earth Pro](#) observatoř navštívím během chvilky. V aplikaci stačí do vyhledávání zadat „W. M. Keck Observatory“ a ocitnu se přímo u Keckových dalekohledů. Mám-li zapnutou funkcionalitu „Prostorově zobrazené budovy / Fotorealistické modely“, mohu si pěkně prohlédnout budovu, ve které se dalekohledy nalézají.

Když najedu kurzorem na observatoř, zvýrazní se modrou barvou. Po kliknutí se zobrazí základní informace o objektu a také odkaz na 3D model, který je uložen na úložišti [SketchUp – 3D Warehouse](#). Odtud si mohu objekt stáhnout ve formátu SKP.

Mně se ale pro další úpravy hodí soubor ve formátu STL. Proto využívám aplikaci [SketchUp Free](#) pro případné úpravy či exporty.

Podobným způsobem si mohu zobrazit, stáhnout a vytisknout nespočet více či méně zajímavých budov po celém světě. Např. v našem nejbližším okolí Kongresové centrum, Corinthia Towers (Corinthia Hotel Prague), Holiday Inn Prague Congress Centre (Na Pankráci 15/1684, Praha), Policie ČR (Kongresová 2, Praha), ... když se posuneme dál, tak například Tančící dům, Galerie Mánes, nákupní galerie Atrium (Karlovo náměstí 10), Fakulta strojní ČVUT, palác Žofin, Národní divadlo, Karlův most atd. Když se přesuneme třeba do Brna, tak Petrov, kostel Sv. Jakuba, Janáčkovo divadlo, parkovací dům Rozmarýn, kancelářský komplex Šumavská, hrad Špilberk aj.

Shrnutí

Na zmíněných praktických příkladech jsem ukázal, že zejména 3D modelování velmi často vyžaduje vizuální kontrolu. Ať se jedná o CAD (computer aided design – počítačem podporované navrhování), 3D skenování či fotogrametrii. Během návrhu také je zapotřebí brát na zřetel principy, které jsou velmi podobné principům pro tvorbu taktilní grafiky. Avšak ne vždy je nutné objekty modelovat, protože veliké množství objektů lze pořídit z různých online zdrojů. Je jich opravdu hodně: muzea ([Britské muzeum](#), [Louvre](#), ...), [Thingiverse](#), [YouImagine](#), [My Mini Factory](#), [GrabCAD](#), [Cubehero](#), [Shapeways](#), [Yeggi](#), [Augenbit 3D Druck](#) atd. Je dokonce možné, že velmi brzy se speciálně pro zrakově postižené zájemce o 3D tisk objeví i český zdroj kvalitních modelů pro 3D tisk.

Shrňme si, jakými základními cestami se můžeme dostat k modelu pro 3D tisk:

- Model si vyhotovíme sami. Pokud nám nevyhovuje modelování stylem WYSIWYG („What you see is what you get.“), můžeme použít programování objektů, např. v programu OpenSCAD. Nutno však poznamenat, že i mezi lidmi bez zrakového postižení se touto cestou ubírají zpravidla jen nadšenci.
- Model si stáhneme a jednoduše vytiskneme. Zde je důležité znát kvalitu dostupných modelů. Je to přitom běžný způsob, jak získat nějaký 3D model.
- Model si necháme vyhotovit někým zkušenějším.

FFF 3D tiskárny na trhu je celá řada. Liší se svými možnostmi, velikostí, rychlostí, kvalitou tisku a dalšími charakteristikami. Některé jsou uživatelsky přívětivější, jiné méně, každopádně v samotných začátcích prakticky všechny vyžadují určitou trpělivost, která dříve nebo později svému uživateli přinese očekávané ovoce. S rostoucí závažností zrakového postižení narůstá množství bariér v použití 3D tiskáren, které jsou alespoň částečně překonatelné – už jen z toho důvodu, že mnohé FFF 3D tiskárny mají tzv. otevřený design (open design) a umožňují 3D tiskárnu upravovat; nedělejme si iluze, že by si každý z nás 3D tiskárnu upravoval, chápeme to spíše tak, že je to možná výzva pro různé projekty (třeba start-up), které se 3D tiskárnami zaměří také na zrakově postižené.

V souvislosti s 3D tiskárnami, samotným procesem tisku i hotovými výrobky je nutné klást zvláštní důraz na bezpečnost:

- 3D tisk: mechanická zranění, popáleniny, poleptání, intoxikace, úrazy elektrickým proudem, cizí tělesa v kůži, ...
- Samotné objekty: mechanická zranění (ostré hrany, příliš špičaté objekty), cizí tělesa v kůži (nevhodné opracování), příliš malé objekty (vdechnutí), ...
- Hromadné používání objektů: infekční, bakteriální... onemocnění, mechanická zranění... => hygienická pravidla, bezpečnostní informace, bezpečnostní protipatření, ...

Zmíněná negativa je nutné sdělit i přesto, že 3D tisk má ohromný potenciál v mnoha oblastech života lidí se zrakovým postižením, zvláště pak na poli vzdělávání. A proto by bylo přirozené, kdyby výhod 3D tisku využívaly také různé organizace (ale i jednotlivci), které nabízejí či chtějí nabízet služby zrakově postiženým – školy, hvězdárny a planetária, muzea atd.

Na závěr si shrňme výhody a nevýhody:

Výhody:

- 3D objekty jsou mnohdy srozumitelnější než hmatová grafika.
- 3D objekty mohou být levnější než pořízení objektu tradičními cestami.
- Zpřístupnění objektů, které jsou jinak příliš: malé, velké, nebezpečné, drahé, vzácné, nepevné.
- Zpravidla je model vítán i lidmi bez zrakového postižení.
- Možnost individualizace pomůcek.
- Možnost sdílení podkladů pro 3D tisk.
- Technický pokrok již dnes nabízí velkou část světa v digitální 3D podobě (např. zmíněné OpenStreetMap, Google Earth Pro a SketchUp 3D Warehouse).

Nevýhody:

- Pořizování podkladů pro 3D tisk zpravidla vyžaduje vizuální kontrolu => Využívat zdroje s hotovými podklady.
- Tisk trvá poměrně dlouho. => Vhodně navrhovat, více tiskáren (farma).
- Velikost objektu zpravidla omezena na velikost tiskárny => Větší složit z menších částí.
- Náročnější označování. => Doprovodná vysvětlení.
- 3D tiskárny nejsou dostatečně přístupné lidem se zrakovým postižením => Výzva pro výrobce 3D tiskáren, využít otevřený design, vyžadovat a využívat služeb 3D tisku.

Produkty 3D tisku lidem se zrakovým postižením nabízí úžasné možnosti při řešení informačního deficitu, avšak zároveň těmto lidem stávající technologie používané pro 3D tisk přináší mnoho bariér. Východiska mohou být třeba:

- Optimalizace technologií pro 3D tisk tak, aby byly přístupnější.
 - Klást požadavky na přístupnost relevantních technologií pro 3D tisk.
 - Vytvářet relevantní technologie pro 3D tisk speciálně určené pro použití lidmi se zrakovým postižením.
- Bypassování problematických oblastí 3D tisku za účelem zlepšení využití výhod 3D tisku. Tím může být např. pomoc lidí, pro něž daná oblast 3D tisku je bezbariérová (např. využití pomoci blízkých, služeb specializovaných středisek atp.).

Technologie 3D tisku se velmi rychle vyvíjejí a vývoj sám o sobě povede k lepší přístupnosti 3D tisku; přesto je zapotřebí činit vše pro to, aby 3D tisk byl přístupnější lidem, pro které má nezpochybnitelné přínosy. Přes všechny překážky se nebojme 3D tisk využívat již nyní!